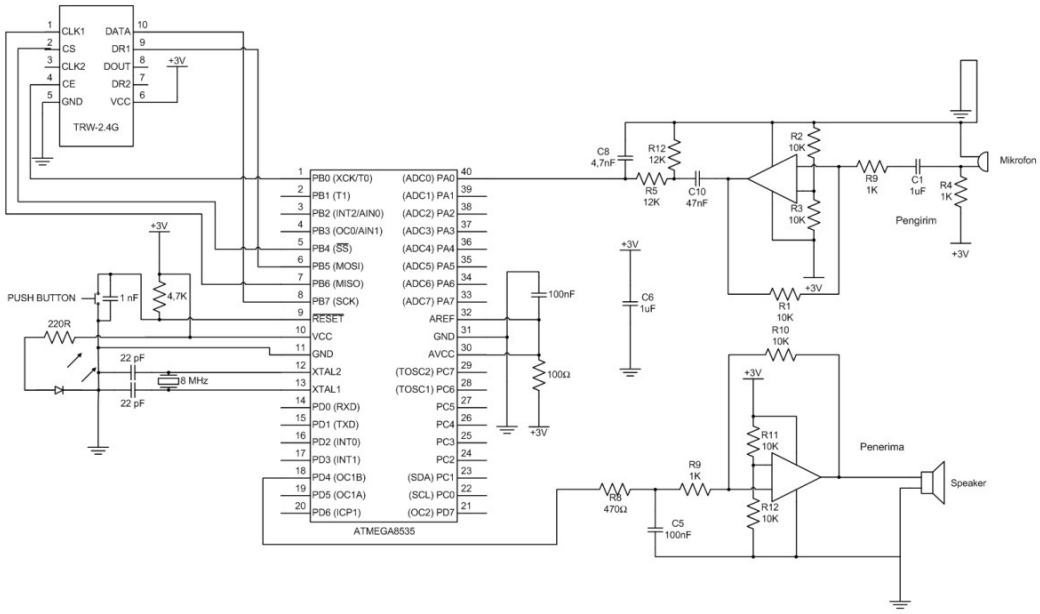
BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian dan analisa sistem dalam aplikasi tugas akhir ini secara umum terbagi menjadi dua hal, yaitu:

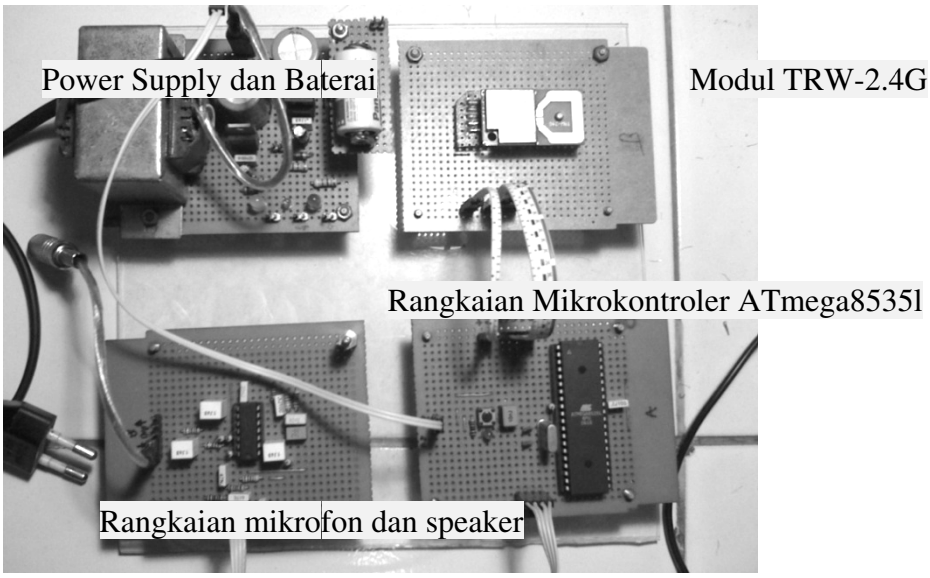
1. Pengujian dan analisa perangkat keras yang meliputi Pengujian dan analisa rangkaian mikrokontroler ATmega8535, rangkaian mikrofon dan speaker, serta rangkaian TRW-2.4G.
2. Pengujian dan analisa perangkat lunak yang diimplementasikan pada mikrokontroler ATmega8535L sebagai pengendali sistem secara keseluruhan yang meliputi konfigurasi modul TRW-2.4G sebagai modul komunikasi nirkabel dengan teknik modulasi GFSK dan pengendalian sistem komunikasi data antara pengirim dan penerima serta pengolahan data I/O pada mikrokontroler ATmega8535L.

Berikut ini adalah rangkaian perancangan wireless headset menggunakan *transmitter* GFSK secara keseluruhan untuk bagian pengirim dan penerima:

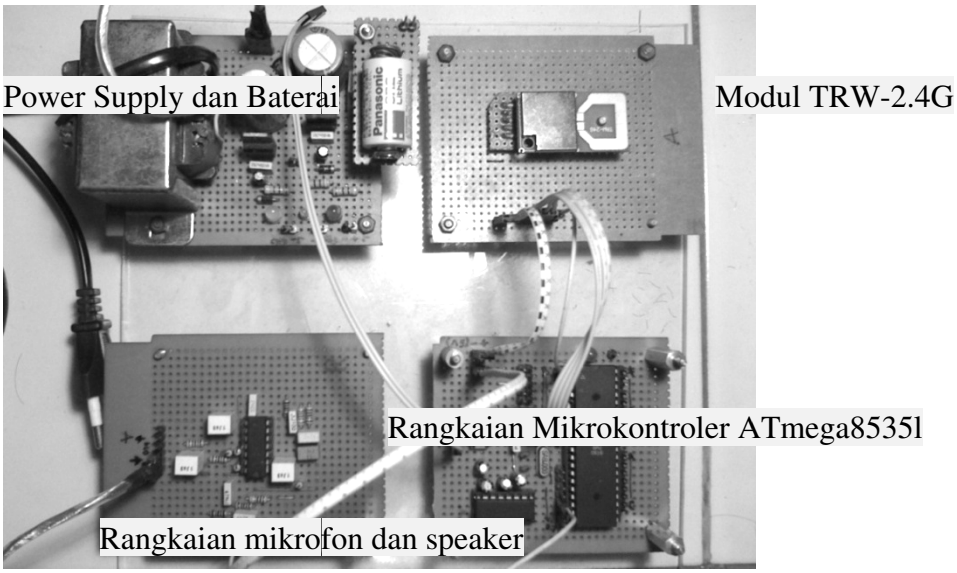


Gambar 4.1. Rangkaian Perancangan *Wireless Headset* Menggunakan *Transmitter* GFSK Secara Keseluruhan

Pada Gambar 4.1 diperlihatkan keseluruhan sub sistem rangkaian dari perancangan wireless headset menggunakan *transmitter* GFSK yaitu rangkaian mikrokontroler ATmega8535L sebagai pengendali utama dari keseluruhan yang diantarmukakan ke modul TRW-2.4G untuk melakukan komunikasi data nirkabel dengan teknik modulasi GFSK, serta rangkaian mikrofon dan speaker sebagai sarana input/output (I/O). Perangkat keras rangkaian pengirim dan penerima dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.2 Rangkaian Pengirim



Gambar 4.3 Rangkaian Penerima

4.1. Pengujian dan Analisa Perangkat Keras

Pengujian dan analisa perangkat keras ini terbagi menjadi 2 sub sistem yaitu rangkaian mikrokontroler ATmega8535L dan rangkaian mikrofon dan speaker, serta modul TRW-2.4G. Pengujian perangkat keras bertujuan untuk mengetahui proses yang dilakukan tiap rangkaian sub sistem. Analisa dilakukan dengan menilai hasil pengujian dari tiap rangkaian sub sistem, untuk dibandingkan dengan konsep perancangan pada Bab III dan informasi masing-masing perangkat yang terdapat pada *datasheet*.

4.1.1. Rangkaian Mikrokontroler ATmega8535L

Rangkaian mikrokontroler ATmega8535 merupakan sebuah rangkaian awal paling minimal agar sebuah perangkat mikrokontroler dapat bekerja dengan baik. Pada aplikasi dalam tugas akhir ini mikrokontroler ATmega8535L akan bekerja pada level tegangan ±3 V yang bersumber dari baterai.

Pengujian rangkaian mikrokontroler ATmega8535L dilakukan dengan memeriksa besar tegangan output dan input yang dibutuhkan pada masing-masing pin I/O pada mikrokontroler ATmega8535L yang dihubungkan dengan modul TRW-2.4G dan rangkaian mikrofon dan speaker. Beberapa hal yang diperhatikan pada rangkaian mikrokontroler ATmega8535L ini antara lain:

1. PORTB merupakan pin yang dihubungkan dengan modul TRW-2.4G untuk melakukan konfigurasi dan melakukan pengiriman serta penerimaan data. Pin-pin yang bersesuaian antara mikrokontroler ATmega8535L dan modul TRW-2.4G dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1. *Pin-pin yang Bersesuain Antara ATmega8535L dan TRW-2.4G*

PORTB ATmega8535L		**TRW-2.4G**	
Nama Pin	**Keterangan**	**Nama Pin**	**Keterangan**
PORTB0	Output	CE	Input
PORTB4	Output	CS	Input
PORTB5	Input	DR1	Output
PORTB6	Output	CLK1	Input
PORTB7	Input/Output	DATA	Input/Output

2. PORTA merupakan pin yang dihubungkan dengan rangkaian mikrofon dan digunakan sebagai input bagi perangkat ADC internal pada mikrokontroler ATmega8535L. Pin yang digunakan yaitu PORTA0.
3. PORTD merupakan pin yang dihubungkan dengan rangkaian speaker dan digunakan sebagai output bagi sinyal PWM yang dibangkitkan oleh Timer 1 pada mikrokontroler ATmega8535L. Pin yang digunakan yaitu PORTD4.

Pengujian pin pada mikrokontroler ATmega8535L dilakukan dengan mengukur besar tegangan output yang dikeluarkan dan besar tegangan input yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ATmega8535L. Pada pengujian besar tegangan input, mikrokontroler ATmega8535L akan mengaktifkan suatu nyala LED ketika tegangan input yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ATmega8535L telah cukup dideteksi sebagai level tegangan *High*. Mikrokontroler ATmega8535L menggunakan sumber daya baterai dengan tegangan sebesar ±3 V. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. *Hasil Pengujian Tegangan Output pada PORTB*

Nama Pin	Tegangan (Volt)	
	High	***Low***
PORTB0	2,98	0,03
PORTB4	2,99	0,02
PORTB6	2,99	0,04
PORTB7	2,98	0,03

Tabel 4.3. *Hasil Pengujian Tegangan Input pada PORTB*

Nama Pin	Tegangan (Volt)		Kondisi LED	
	High	***Low***	***High***	***Low***
PORTB5	2,98	0,00	Menyala	Mati
PORTB7	2,98	0,00	Menyala	Mati

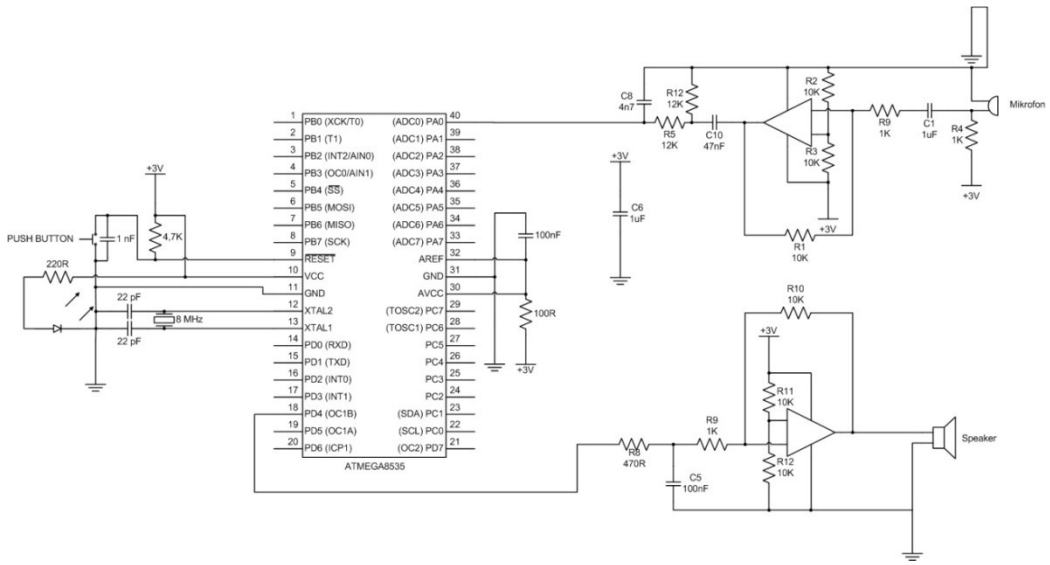
PORTB pada mikrokontroler ATmega8535L merupakan port yang dihubungkan dengan modul TRW-2.4G untuk melakukan konfigurasi dan pengiriman serta penerimaan data melalui TRW-2.4G. Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa modul TRW-2.4G akan dapat bekerja dengan baik untuk melakukan pengiriman dan

penerimaan data serta konfigurasi yang dilakukan oleh mikrokotroler ATmega8535L. Hal ini dapat dibuktikan dengan cara membandingkan data-data tersebut dengan data-data *electrical specification* yang dimiliki oleh modul TRW-2.4G. Data-data tersebut diperoleh dari *datasheet* Wenshing TRW-2.4G, antara lain seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. *Electrical Specification Level Tegangan Wenshing TRW-2.4G*

Symbol	Parameter (Condition: VDD = +3V, VSS = 0V)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	Digital Input Pin					
V_{IH}	HIGH level input voltage		VDD-0,3		VDD	V
V_{IL}	LOW level input voltage		VSS		0,3	V
	Digital Output Pin					
V_{OH}	HIGH level output voltage		VDD-0,3		VDD	V
V_{OL}	LOW level output voltage		VSS		0,3	V

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian terhadap perangkat ADC dan PWM internal ATmega8535L dengan PORTA0 sebagai jalur input perangkat ADC internal dan PORTD4 sebagai jalur output hasil pembangkitan sinyal PWM. Pengujian ini sekaligus meliputi pengujian rangkaian mikrofon dan speaker. Rangkaian untuk melakukan pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



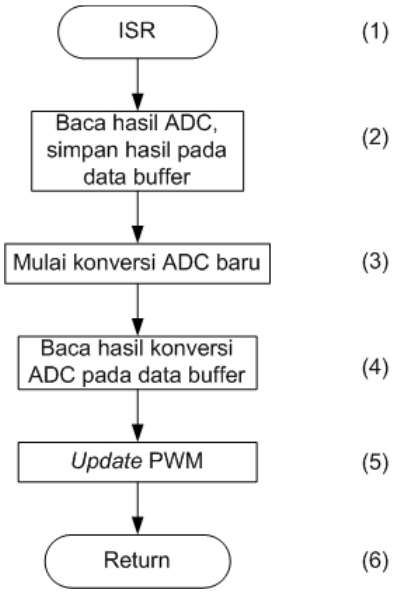
Gambar 4.4. Rangkaian Pengujian ADC dan PWM ATmega8535L

Rangkaian mikrofon pada Gambar 4.4 akan melakukan penguatan dan *filtering* sebelum sinyal suara analog diproses oleh perangkat ADC internal pada ATmega8535L kedalam bentuk data-data digital melalui PORTA0. Data-data digital hasil konversi akan diproses kembali untuk dibangkitkan menjadi sinyal PWM oleh mikrokontroler ATmega8535L. Rangkaian speaker akan melakukan penguatan dan *filtering* terhadap sinyal PWM hasil pembangkitan ulang tersebut sebelum sinyal suara analog dikeluarkan melalui sebuah speaker.

Pengujian dilakukan dengan membangun aplikasi yang diimplementasikan pada mikrokontroler ATmega8535L untuk melakukan sampling terhadap sinyal suara analog melalui perangkat ADC sekaligus membangkitkan sinyal PWM sebagai output suara kembali dalam bentuk sinyal analog. Spesifikasi yang digunakan untuk melakukan pengujian antara lain:

1. Frekuensi ADC *sampling* dan PWM *update* (*fs*) adalah 8 kHz dengan resolusi sebesar 8-bit.
2. Pewaktuan sampling memanfaatkan fasilitas ISR dari Timer 0 pada mikrokontroler ATmega8535L yang akan membentuk slot-slot waktu dengan frekuensi sebesar 8 kHz.

Diagram alir ISR untuk melakukan pengujian ADC dan PWM pada mikrokontroler ATmega8535L dapat dilihat pada Gambar 4.5.

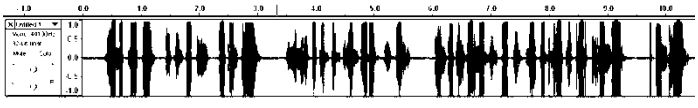


Gambar 4.5. Diagram Alir ISR Pengujian ADC dan PWM pada ATmega8535L

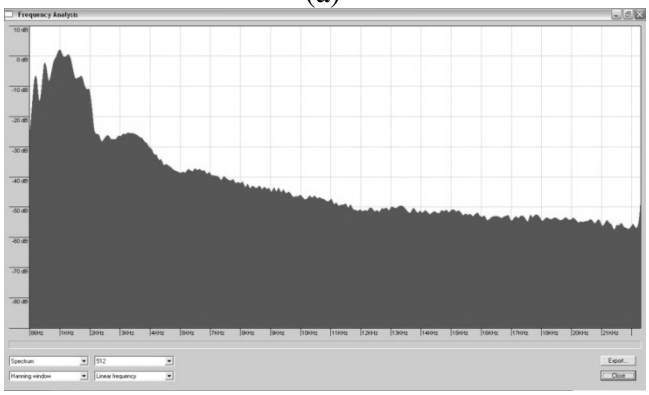
Keterangan:

1. Awal rutin ISR. ISR akan dieksekusi tiap 125µs, yaitu ketika terjadi *overflow interrupt* pada Timer 0.
2. ISR melakukan pembacaan hasil konversi ADC dan penyimpanan hasil konversi ADC pada *buffer* data.
3. ISR memberikan perintah kepada ADC untuk melakukan konversi yang baru.
4. ISR melakukan pembacaan hasil konversi ADC pada *buffer* yang digunakan untuk melakukan update terhadap perangkat pembangkit sinyal PWM.
5. ISR melakukan update terhadap *register* data PWM dengan nilai yang sesuai dengan nilai yang dibaca di *buffer*.
6. Proses dalam ISR telah selesai dieksekusi, dan kontrol akan dikembalikan pada *loop* program utama hingga *interrupt* selanjutnya.

Kendali pada perangkat lunak pengujian ini sepenuhnya berada pada ISR. Tidak ada fungsi yang dieksekusi oleh *loop* program utama kecuali hanya melakukan inisialisasi terhadap perangkat-perangkat yang digunakan pada mikrokontroler ATmega8535L antara lain ADC, Timer 1 sebagai pembangkit sinyal PWM, dan Timer 0 sebagai pembentuk slot-slot waktu yang digunakan untuk menentukan frekuensi sampling. Pada Gambar 4.6 berikut akan diilustrasikan *waveform* dan spektrum frekuensi suara yang digunakan sebagai sampel dalam pengujian ini.



(a)

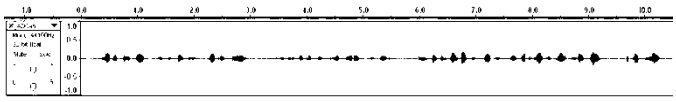


(b)

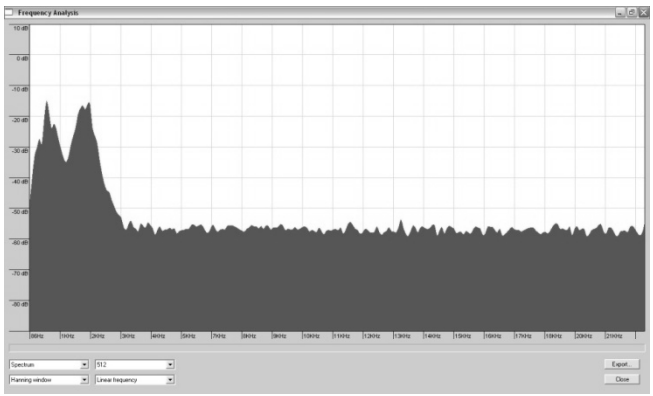
Gambar 4.6. (a) *Waveform* Suara Sampel, (b) Spektrum Frekuensi Suara Sampel

Gambar 4.6 merupakan hasil plot grafik *waveform* dan spektrum frekuensi suara menggunakan perangkat lunak *cross-platform digital audio editor and recording* Audacity 1.2.6. *Waveform* dan spektrum frekuensi suara pada Gambar 4.6 akan digunakan sebagai pembanding terhadap hasil keseluruhan pengujian yang dilakukan yaitu pengujian terhadap perangkat ADC dan PWM internal mikrokontroler ATmega8535L dan pengujian akhir pada keseluruhan sistem.

Gambar 4.6a menunjukkan sinyal suara kontinu pada domain waktu dan Gambar 4.6b menunjukkan spektrum frekuensi suara yang digunakan sebagai sumber pengujian. Sinyal tersebut merupakan sinyal suara sebelum melewati rangkaian mikrofon yang akan melakukan *filtering* pada frekuensi sinyal dibawah 3 kHz. Setelah melewati rangkaian mikrofon, bentuk *waveform* dan spektrum frekuensi pada sinyal suara sumber akan berubah menjadi seperti pada Gambar 4.7 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.7. (a) *Waveform* Suara Setelah Melewati Rangkaian Mikrofon, (b) Spektrum Frekuensi Suara Setelah Melewati Rangkaian Mikrofon

Rangkaian mikrofon melakukan *filtering* terhadap sinyal suara analog sebelum diproses oleh perangkat ADC internal mikrokontroler ATmega8535L. Pada Gambar 4.7b diatas, diperlihatkan bahwa spektrum frekuensi yang diloloskan oleh rangkaian mikrofon berada pada frekuensi dibawah 3 kHz dengan pada rentang kebisingan antara -10 dB hingga -30 dB. Pada rentang tersebut, sinyal suara analog yang diloloskan oleh rangkaian mikrofon masih memiliki

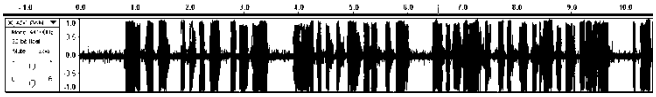
informasi yang sama dengan sinyal sumber. Melalui pengamatan *waveform* dan spektrum frekuensi pada Gambar 4.7 dapat diperoleh kesimpulan bahwa rangkaian mikrofon dapat melakukan proses *filtering* cukup baik untuk sumber sinyal suara analog untuk meloloskan spektrum frekuensi dibawah 3 kHz.

Pengujian selanjutnya dilakukan terhadap perangkat ADC dan PWM internal pada mikrokontroler ATmega8535L. Hasil pengujian terhadap perangkat ADC dan PWM internal pada mikrokontroler ATmega8535L dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8.

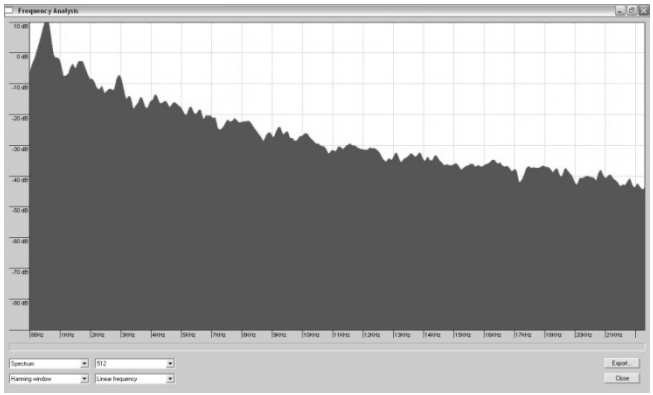
Tabel 4.5. *Hasil Pengujian ADC dan PWM ATmega8535L*

Pengujian Ke	**Ada Suara/Tidak Ada Suara**	**Kualitas (Baik/Sedang/Buruk)**
1	Ada Suara	Baik
2	Ada Suara	Baik
3	Ada Suara	Baik
4	Ada Suara	Baik
5	Ada Suara	Baik
6	Ada Suara	Baik
7	Ada Suara	Baik
8	Ada Suara	Baik
9	Ada Suara	Baik
10	Ada Suara	Baik

Hasil pengujian pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa perangkat ADC dan PWM ATmega8535L dapat bekerja dengan baik untuk melakukan pengubahan sinyal suara analog kedalam bentuk data digital dan melakukan pembangkitan kembali data digital tersebut kedalam bentuk sinyal suara analog. Kualitas suara yang dihasilkan tidak sepenuhnya sama dengan kualitas suara yang digunakan sebagai sumber pengujian. Namun, suara yang dihasilkan masih dapat diterima dengan cukup baik oleh pendengaran. Penjelasan lebih lanjut mengenai kualitas suara yang dihasilkan dengan melakukan pembangkitan kembali data digital menjadi sinyal suara analog dapat dilihat pada Gambar 4.8.



(a)



(b)

Gambar 4.8. (a) *Waveform* Suara Hasil Pengujian ADC dan PWM ATmega8535L, (b) Spektrum Frekuensi Suara Hasil Pengujian

Gambar 4.8 menunjukkan *waveform* dan spektrum frekuensi sinyal suara yang dihasilkan setelah dilakukan pemrosesan melalui perangkat ADC dan PWM internal pada mikroprosesor ATmega8535L.

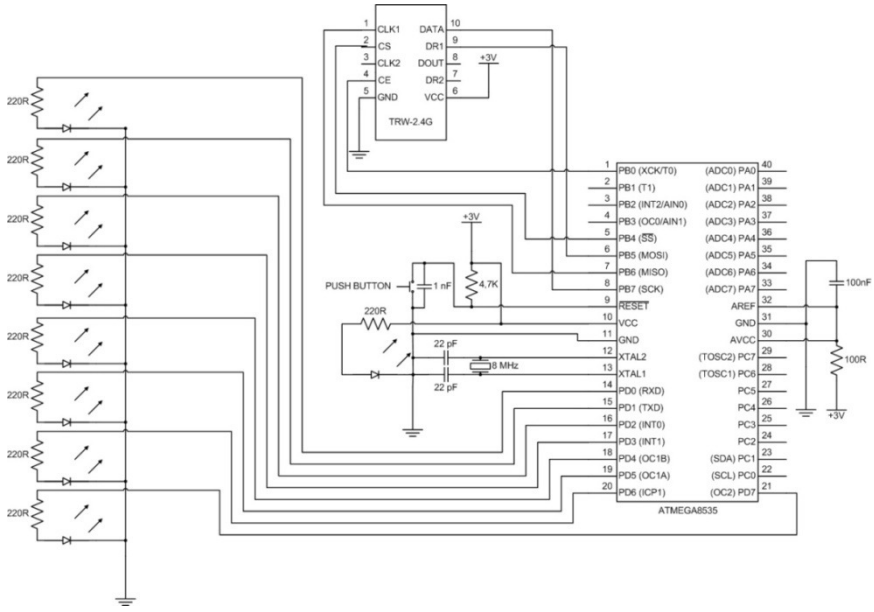
Hasil pengujian perangkat ADC dan PWM internal pada mikrokontroler ATmega8535L pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian terbaik yang diperoleh. Hasil pengujian ini digunakan sebagai pembanding untuk pengujian pada perancangan w*ireless headset* menggunakan *transmitter* GFSK secara keseluruhan.

4.1.2. Modul TRW-2.4G

TRW-2.4G merupakan modul transceiver komunikasi data nirkabel dengan menggunakan teknik modulasi GFSK. TRW-2.4G bekerja pada level tegangan 1,9 – 3,6 V. Pada aplikasi dalam tugas akhir ini, TRW-2.4G menggunakan sumber tegangan yang sama dengan mikrokontroler ATmega8535L pada level tegangan sebesar ±3 V.

Pengujian modul TRW-2.4G dilakukan dengan menggunakan dua mikrokontroler ATmega8535L sebagai sarana pengiriman dan penerimaan data. Spesifikasi yang digunakan untuk melakukan pengujian modul TRW-2.4G antara lain:

1. Besar data yang digunakan adalah 96-bit (12 byte). Besar data ini juga digunakan sebagai besar *payload* pada byte konfigurasi modul TRW-2.4G.
2. Data yang diterima ditampilkan oleh penerima pada 8-bit LED yang dihubungkan ke PORTD mikrokontroler ATmega8535L yang dikonfigurasikan sebagai penerima. Skema rangkaian pada penerima dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9. Rangkaian Penerima Pengujian TRW-2.4G

3. Pengiriman 96-bit data akan dilakukan dengan waktu tunda sebesar 1,5 ms secara terus menerus dengan memanfaatkan fasilitas ISR dari Timer 0 pada mikrokontroler ATmega8535L. ISR melakukan pengumpulan data untuk 12 *frame* data yang tersusun atas 12 slot waktu sebesar 125µs menjadi 1 paket data sebesar 12 byte. Paket data terdiri dari 12 byte data sampel dengan nilai `0x55` dan `0xAA`. Penerima akan melakukan penerimaan data dan menampilkan 12 byte data sampel tersebut melalui LED pada PORTD dengan waktu tunda tiap 8-bit data sebesar 200 ms sehingga data sempat diperiksa.
4. Besar pengalamatan yang digunakan pada buffer TRW-2.4G adalah 24-bit dimulai dari alamat `0x030405`.
5. Menggunakan 16-bit CRC.

6. Kecepatan transfer data yang digunakan pada TRW-2.4G adalah 1 Mbps dengan mode operasi Shockburst™ pada *channel* 204 (menggunakan frekuensi 2604 MHz).

Pada pengujian, semua LED melakukan *toggling* pada nilai `0xFF` dan `0x00` dengan waktu tunda sebesar 100 ms selama tidak ada data yang diterima (kondisi penerima dalam keadaan menunggu data). Hal ini dilakukan agar pengamatan yang dilakukan dapat membedakan kondisi LED ketika ada data atau tidak ada data. Adanya waktu tunda pada *toggling* LED ini juga menunjukkan bahwa penerimaan data aktif tiap 100ms. Hasil pengujian terhadap modul TRW-2.4G dengan menggunakan spesifikasi diatas dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. *Hasil Pengujian Modul TRW-2.4G*

No.	Nilai PORTD pada Penerima
1	0xFF
2	0xAA
3	0x55
4	0xAA
5	0x55
6	0xAA
7	0x55
8	0xAA
9	0x55
10	0xAA
11	0x55
12	0xAA
13	0x55
14	0x00

Hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.6. diatas merupakan salah satu hasil pengujian dari beberapa pengujian yang dilakukan dengan spesifikasi yang sama. Spesifikasi pengujian ini merupakan spesifikasi terbaik yang diperoleh untuk melakukan pengiriman data dengan mengimplementasikan ISR pada

kecepatan pengiriman paket data tiap 1,5 ms. Spesifikasi ini juga merupakan spesifikasi yang digunakan untuk mengimplementasikan aplikasi pengiriman suara wireless melalui modul TRW-2.4G.

4.2. Pengujian dan Analisa Perangkat Lunak

Pengujian dan analisa perangkat lunak dilakukan dengan mengimplementasikan konsep perancangan perangkat lunak pada Bab III. Pengujian pada perangkat lunak ini mencakup pada pengujian kinerja keseluruhan sistem perangkat keras. Spesifikasi yang digunakan dalam pengujian perangkat lunak ini disesuaikan dengan definisi perangkat lunak yang telah ditentukan sebelumnya, antara lain:

1. Frekuensi ADC *sampling* dan PWM *update* (*fs*) adalah 8 kHz dengan resolusi sebesar 8-bit.
2. Pewaktuan pada perangkat lunak akan membentuk slot-slot waktu yang memiliki besar frekuensi 8 kHz.
3. Sebuah *frame* data tersusun atas 12 sampel data dari 12 slot waktu 125μs (1/*fs*).
4. Sebuah paket dari 12 sampel data akan ditransmisikan pada tiap *frame* (1,5 ms).

Perangkat lunak yang diimplementasikan pada pengirim dan penerima dibagi menjadi dua bagian penting, yaitu sebuah *interrupt service routine* (ISR) dan *loop* program utama. ISR akan dipanggil pada tiap 125μs slot waktu.

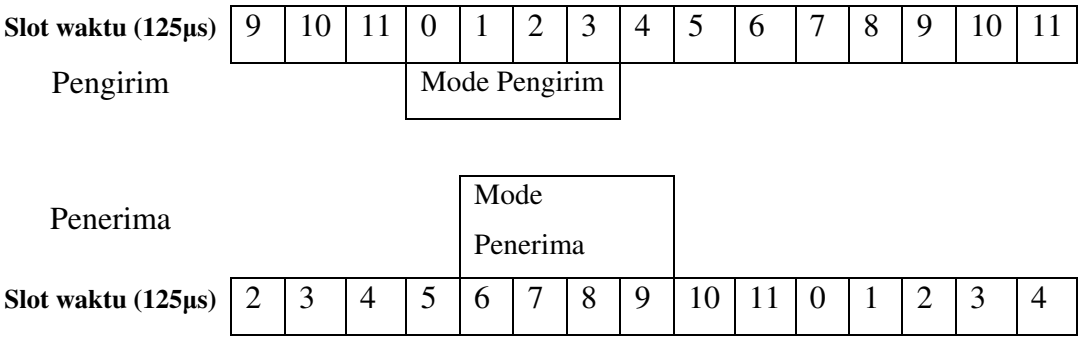
Proses yang akan dijalankan di dalam *loop* pada program utama antara lain:

1. Menunggu hingga slot waktu ke 0 (pengirim).
2. Jika jumlah sampel telah siap, aplikasi akan memanggil fungsi pengaktifan mode pengirim dan mengirimkan sebuah paket data (pengirim).
3. Menunggu hingga slot waktu ke 6 (penerima).
4. Mengaktifkan mode penerima dan melakukan penerimaan sebuah paket data. Time out pada slot waktu ke 10 (penerima).

Proses yang akan dilakukan oleh ISR antara lain:

1. Membaca satu sampel dari ADC dan menyimpan hasil pembacaan ADC ke *transmit buffer* (pengirim).
2. Memulai konversi ADC (pengirim).
3. Membaca satu sampel dari *receive buffer* dan melakukan *update* PWM (penerima).
4. Melakukan *update counter* slot waktu (pengirim dan penerima).

Penerima menggunakan penerimaan paket untuk melakukan sinkronisasi terhadap slot waktu pada komunikasi antara pengirim dan penerima. Ilustrasi sistem komunikasi yang dilakukan antara pengirim dan penerima dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10. Ilustrasi Pengiriman dan Penerimaan Paket Data

Setiap paket data pada pengirim dan penerima memiliki 12 sampel data yang ditransmisikan dan diterima setiap 1,5 ms. Besar paket ($Paket_{AVR2TRW}$) yang dikirimkan oleh mikrokontroler ATmega8535L ke modul TRW-2.4G adalah 120-bit (24-bit pengalamatan *buffer* TRW-2.4G + 96-bit data sampel), dan besar paket RF ($Paket_{TRW2RF}$) yang ditransmisikan oleh modul TRW-2.4G adalah 144-bit (8-bit *preamble* + 16-bit CRC + 24-bit pengalamatan *buffer* TRW-2.4G + 96-bit data sampel).

Perhitungan waktu yang dibutuhkan masing-masing oleh pengiriman dan penerimaan data pada sistem komunikasi ini antara lain:

1. Waktu pengiriman data dari mikrokontroler ATmega8535L ke modul TRW-2.4G ($T_{AVR2TRW}$) sebesar 120 µs. $T_{AVR2TRW}$ dihitung berdasarkan

jumlah data yang dikirimkan mikrokontroler ATmega8535L ke modul TRW-2.4G sebesar 120-bit dengan kecepatan 1 Mbps. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ATmega8535L untuk melakukan pengambilan data dari buffer TRW-2.4G di penerima ($T_{ModePenerima}$) yaitu sebesar 96 μs karena hanya mengambil data sampel sebesar 96-bit.

2. Waktu pengiriman data antar modul TRW-2.4G (T_{OA}) dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.7). Dengan besar paket RF ($Paket_{TRW2RF}$) yang ditransmisikan oleh modul TRW-2.4G adalah 144-bit, maka:

$$T_{OA} = \frac{1}{1\ Mbps} \cdot (Paket_{TRW2RF} + 1)$$

$$T_{OA} = \frac{1}{1 \cdot 10^{6}} \cdot (144 + 1)$$

$$T_{OA} = 145\mu s$$

3. Selain itu, modul TRW-2.4G juga memiliki spesifikasi pewaktuan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk beralih dari keadaan *stand-by* ke mode pengirim ($T_{sby2txSB}$ = 195 μs) dan mode penerima ($T_{sby2rxSB}$ = 202 μs) seperti pada Tabel 2.3.

Sehingga, keseluruhan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data adalah:

T_{Kirim} = $T_{sby2txSB}$ + T_{OA} = 340 μs

T_{Terima} = $T_{sby2rxSB}$ + $T_{ModePenerima}$ = 298 μs

T_{Total} = T_{Kirim} + T_{Terima} = 638 μs

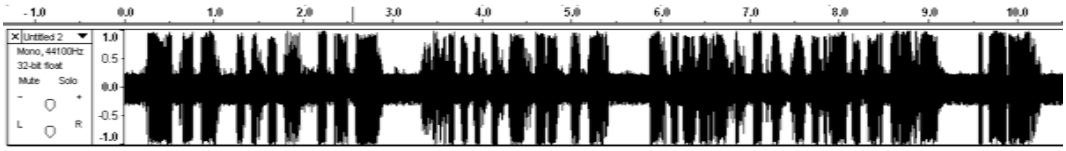
Perangkat lunak akan langsung mengeksekusi perintah yang terdapat pada *loop* program utama dan perintah yang terdapat di dalam ISR. Pengirim melakukan pengiriman data jika paket data telah memiliki 12 sampel data. Penerima menggunakan penerimaan sebuah paket data untuk melakukan sinkronisasi dengan men-set counter slot waktu pada slot waktu ke-9. Jika proses komunikasi gagal, penerima akan melakukan pengulangan proses menunggu paket dan melakukan sinkronisasi kembali dengan pengirim. Waktu yang digunakan oleh penerima untuk tetap pada keadaan siap menerima data pada ilustrasi diatas merupakan waktu pada kasus terburuk. Penerima tetap dalam keadaan aktif untuk melakukan penerimaan hingga paket data yang valid diterima.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber suara yang digunakan untuk melakukan pengujian terhadap ADC dan PWM ATmega8535L sebelumnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

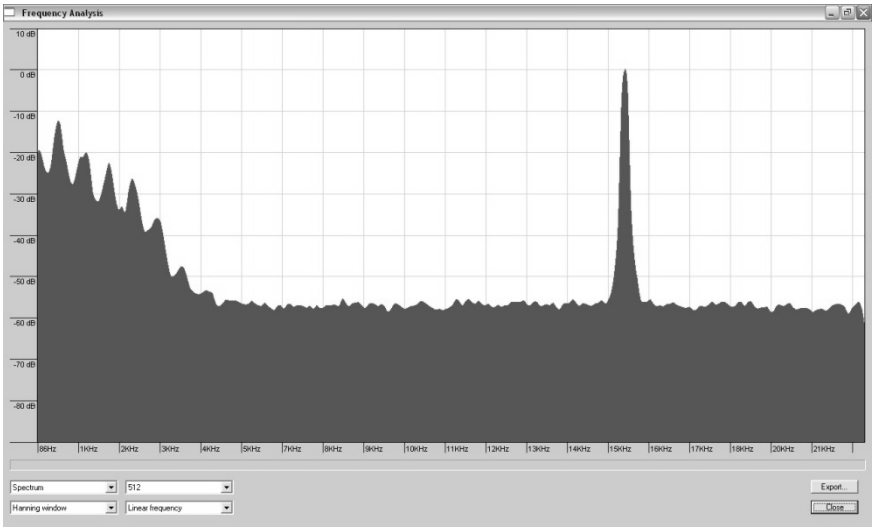
Tabel 4.7. *Hasil Pengujian*

Pengujian ke	**Ada Suara/Tidak Ada Suara**	**Kualitas (Baik/Sedang/Buruk)**
1	Ada Suara	Sedang
2	Ada Suara	Sedang
3	Ada Suara	Sedang
4	Ada Suara	Sedang
5	Ada Suara	Sedang
6	Ada Suara	Sedang
7	Ada Suara	Sedang
8	Ada Suara	Buruk
9	Ada Suara	Buruk
10	Ada Suara	Buruk

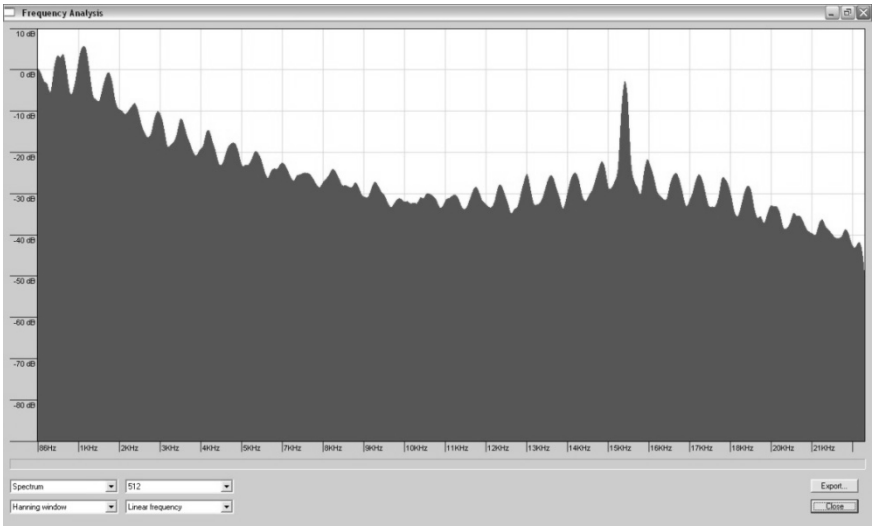
Dari hasil pengujian pada Tabel 4.7, dapat diperoleh kesimpulan bahwa sistem perangkat lunak yang dibangun telah dapat diimplementasikan dengan baik pada perangkat keras yang dibangun untuk melakukan pengiriman suara melalui modul TRW-2.4G dan mikrokontroler ATmega8535L. Namun, terdapat penurunan kualitas suara yang cukup besar jika dibandingkan dengan hasil pengujian sebelumnya. Penjelasan lebih lanjut mengenai kualitas suara yang diterima oleh penerima dapat dilihat pada Gambar 4.11.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.11. (a) *Waveform* Suara Hasil Pengujian, (b) Spektrum Frekuensi Suara Hasil Pengujian Kondisi Tidak Ada Suara, (c) Spektrum Frekuensi Suara Hasil Pengujian Kondisi Ada Suara

Gambar 4.11 menunjukkan *waveform* dan spektrum frekuensi pada suara yang diterima oleh penerima setelah melalui proses pengubahan sinyal suara analog kedalam bentuk data-data digital dan pengiriman data oleh pengirim, serta pembangkitan kembali data-data digital tersebut menjadi sinyal suara analog oleh penerima.

Waveform yang terbentuk Gambar 4.11a menunjukkan adanya penambahan frekuensi pada sinyal suara analog yang dibangkitkan kembali oleh

penerima. Hal ini dijelaskan lebih lanjut dengan memperhatikan spektrum frekuensi yang tebentuk pada Gambar 4.11b dan Gambar 4.11c.

Spektrum frekuensi pada Gambar 4.11b menunjukkan spektrum frekuensi suara yang telah dibangkitkan kembali oleh perangkat PWM pada mikrokontroler ATmega8535L pada kondisi tidak ada suara atau informasi yang dikirimkan. Pada Gambar 4.11b, terlihat kemunculan komponen frekuensi lain yaitu pada frekuensi 15 kHz yang mengakibatkan terjadinya penguatan pada komponen frekuensi di sekitarnya yaitu dimulai dari 10 kHz hingga 18 kHz yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11c. Komponen frekuensi ini tidak memiliki informasi, karena sesuai dengan proses filtering yang dilakukan oleh rangkaian mikrofon pada ADC, hanya sinyal dengan frekuensi dibawah 3 kHz yang diloloskan untuk kemudian ditransmisikan ke penerima. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa komponen frekuensi diatas 3 kHz yang muncul pada penerima merupakan *noise* yang berperan dalam menurunkan keseluruhan kualitas suara yang diterima.

Sistem pentransmisian data yang dilakukan antara pengirim dan penerima dalam aplikasi pada tugas akhir ini menggunakan teknik komunikasi asinkron. Jenis kesalahan yang umum terjadi pada sistem transmisi asinkron adalah *framing error*. *Framing error* terjadi pada penerima. Dalam aplikasi pada tugas akhir ini, *framing error* menyebabkan munculnya perbedaan antara *frame* data yang diterima dengan *frame* data yang dikirim. Sehingga, terjadi penurunan kualitas suara pada penerima.

Secara umum, penyebab penurunan kualitas suara pada penerima dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketidaksempurnaan pada pembangunan perangkat keras keseluruhan sistem sehingga kemunculan *noise* sulit ditentukan penyebabnya.
2. Proses sinkronisasi antara pengirim dan penerima yang tidak sempurna sehingga menyebabkan adanya paket data yang hilang (*framing error*) selama proses komunikasi berlangsung.

4.3. Pengujian Jarak Transmisi TRW-2.4G

Pengujian fungsional merupakan pengujian yang dilakukan terutama untuk mengetahui jarak maksimum yang dapat dicapai oleh TRW-2.4G dalam

melakukan transmisi data dari pengirim ke penerima secara *wireless*. Perangkat TRW-2.4G memiliki kemampuan untuk mentransmisikan data secara *wireless* hingga jarak 150 m pada kecepatan transmisi data 1 Mbps[18]. Pengujian dilakukan pada sebuah lapangan terbuka sehingga memungkinkan bagi TRW-2.4G untuk melakukan transmisi *Line-of-Sight* (LOS). Hasil pengujian jarak pada TRW-2.4G dapat dilihat pada Tabel 4.8. berikut.

Tabel 4.8. *Hasil Pengujian Jarak pada TRW-2.4G*

No.	**Jarak** (meter)	**Ada/Tidak Suara**	**Kualitas** (Baik/Sedang/Buruk)
1	0 – 10	Ada suara	Baik
2	10 – 20	Ada suara	Baik
3	20 – 30	Ada suara	Baik
4	30 – 40	Ada suara	Baik
5	40 – 50	Ada suara	Baik
6	50 – 60	Ada suara	Baik
7	60 – 70	Ada suara	Baik
8	70 – 80	Ada suara	Buruk
9	80 – 90	Ada suara	Buruk
10	90 – 100	Ada suara	Buruk
11	100 – 110	Tidak ada suara	Buruk

Data pada Tabel 4.8 merupakan data yang diperoleh setelah melakukan pengujian untuk mengetahui jarak maksimum yang mampu dicapai oleh TRW-2.4G. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya suara yang diterima serta kualitas suara yang diterima pada tiap jarak pengukuran tertentu. Kualitas suara akan dikatakan baik bila suara yang diterima masih memiliki informasi secara utuh. Kualitas suara akan dikatakan buruk bila bila informasi yang diterima telah hilang sepenuhnya.

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa hingga jarak 70 meter informasi masih dapat diterima dengan baik. Mulai jarak diatas 70 meter suara yang diterima tidak terlalu jelas hingga hilang sepenuhnya pada jarak diatas 100 meter.

Bila dibandingkan dengan data pada datasheet, jarak transmisi TRW-2.4G mengalami penurunan yang cukup besar. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya penurunan jarak transmisi secara umum pada TRW-2.4G antara lain:

1. Lemahnya daya pancar gelombang radio pada TRW-2.4G.
2. Ukuran antenna built-in pada TRW-2.4G yang cukup kecil.
3. Pengaruh keadaan lingkungan ketika melakukan pengujian.